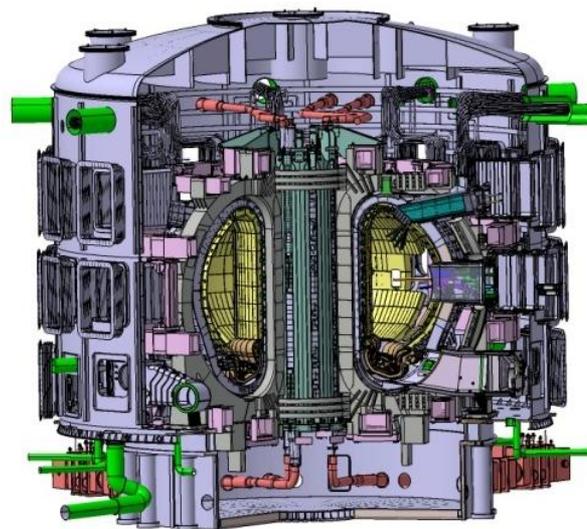


# ITER計画の現状と展望

1. ITER計画
  - 特徴と基本構成
  - 計画の経緯と概要
  - ITERの運営体制
2. ITER建設の進展
  - サイト整備
  - 日本分担機器
  - 他国分担機器
3. 核融合炉への道
4. まとめ

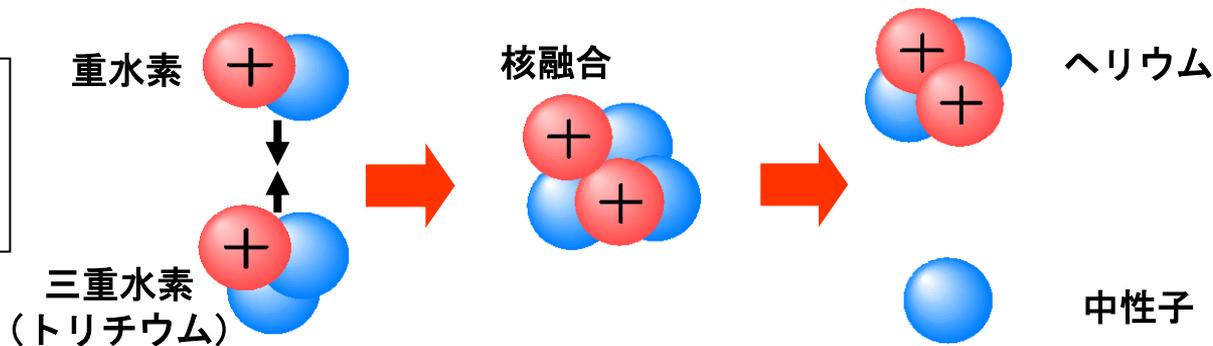


ITER機構 副機構長  
多田 栄介

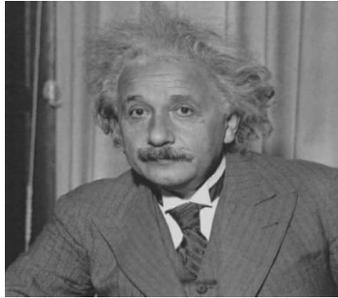
# 核融合反応

- 核融合反応では、2つの原子核同士が衝突して融合する。
- 原子核は両方とも正の電荷を持っているため、早い速度でぶつけないと正の電荷同士の反発力（クーロン力）で衝突しない。
- 衝突させるために必要な速度は、約1,000km/sec以上。この速度は重水素（D）と三重水素（T）を1億度以上の高温（プラズマ）に加熱することにより得られる。

地上で最も  
起こし易い  
核融合反応



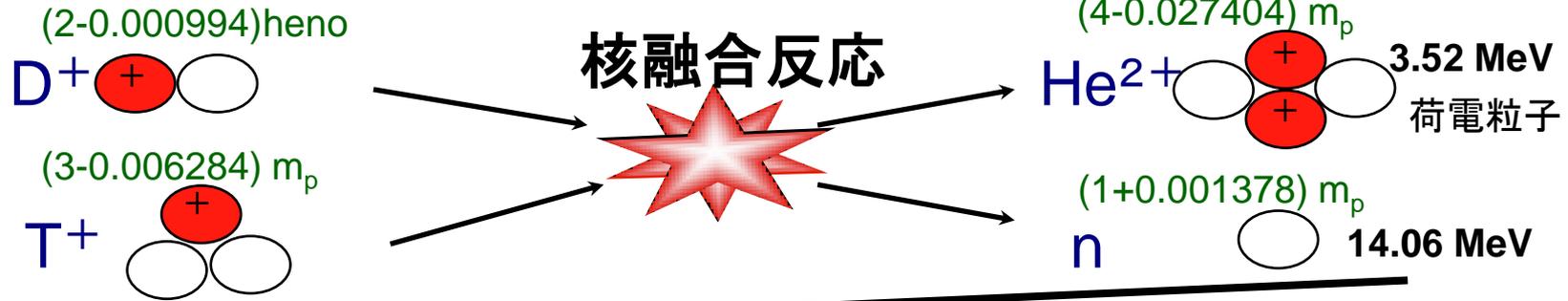
# 反応前後の重さの違いが核融合エネルギー



アインシュタインの原理

$$E=mc^2$$

エネルギーと質量は等価



反応後0.01875  $m_p$ 質量が減少 ( $m_p$ :陽子質量=938MeV)

0.01875  $m_p$  = 17.6MeV → He, nの運動エネルギー

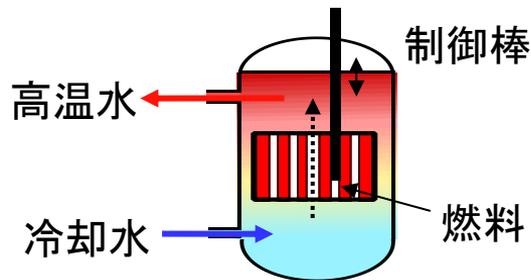
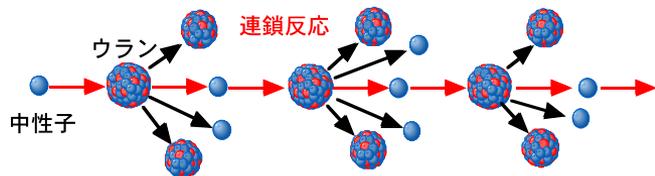
# 核分裂炉と核融合炉の一般的な違い

## 核分裂

重い原子核が分裂してエネルギーを発生

- ・前の反応が次の反応を起こさせる
- ・燃料を数年分炉の中に置いておく
- ・過度な反応を防ぐよう制御する

⇒止める、冷やす、閉じ込める

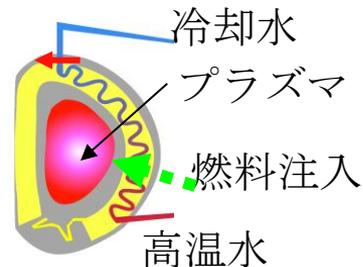


## 核融合

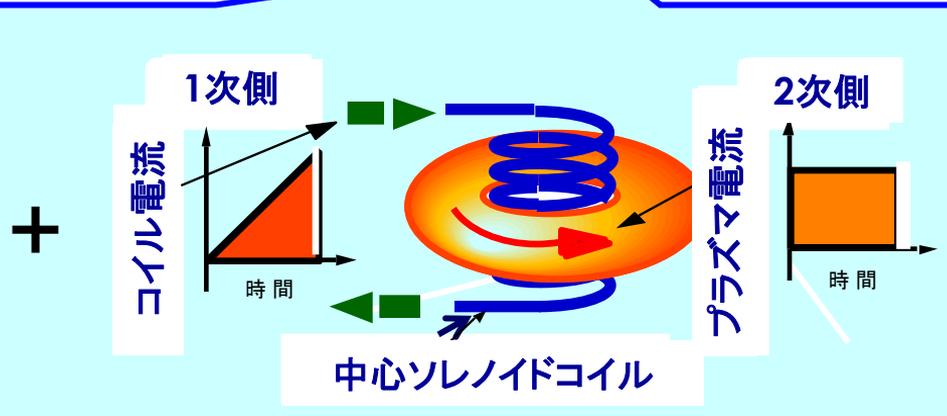
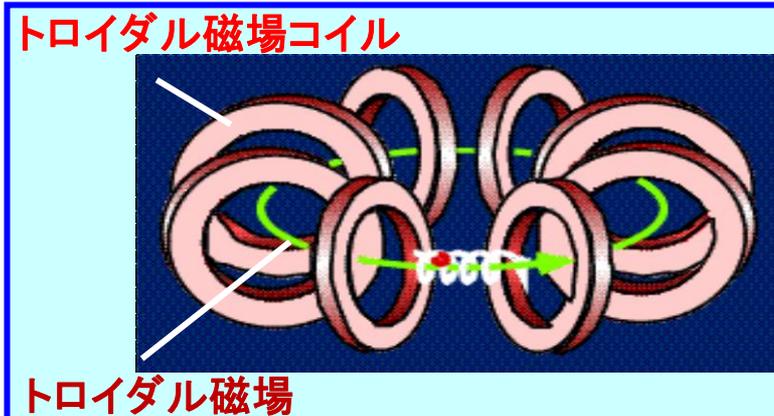
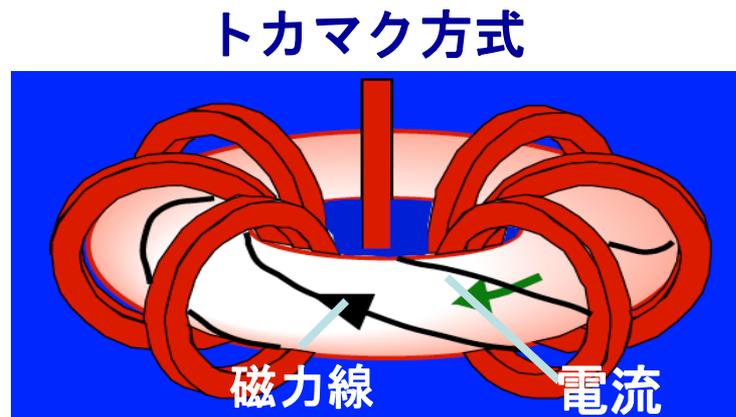
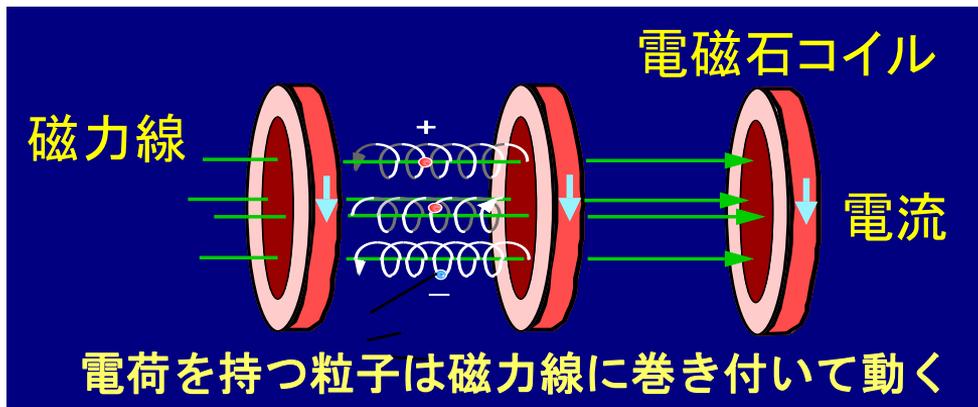
軽い原子核同士が融合してエネルギーを発生

- ・前の反応は次の反応と関係しない
- ・その時に必要な量しか炉の中に存在しない
- ・反応を持続するよう制御する(自動的に停止)

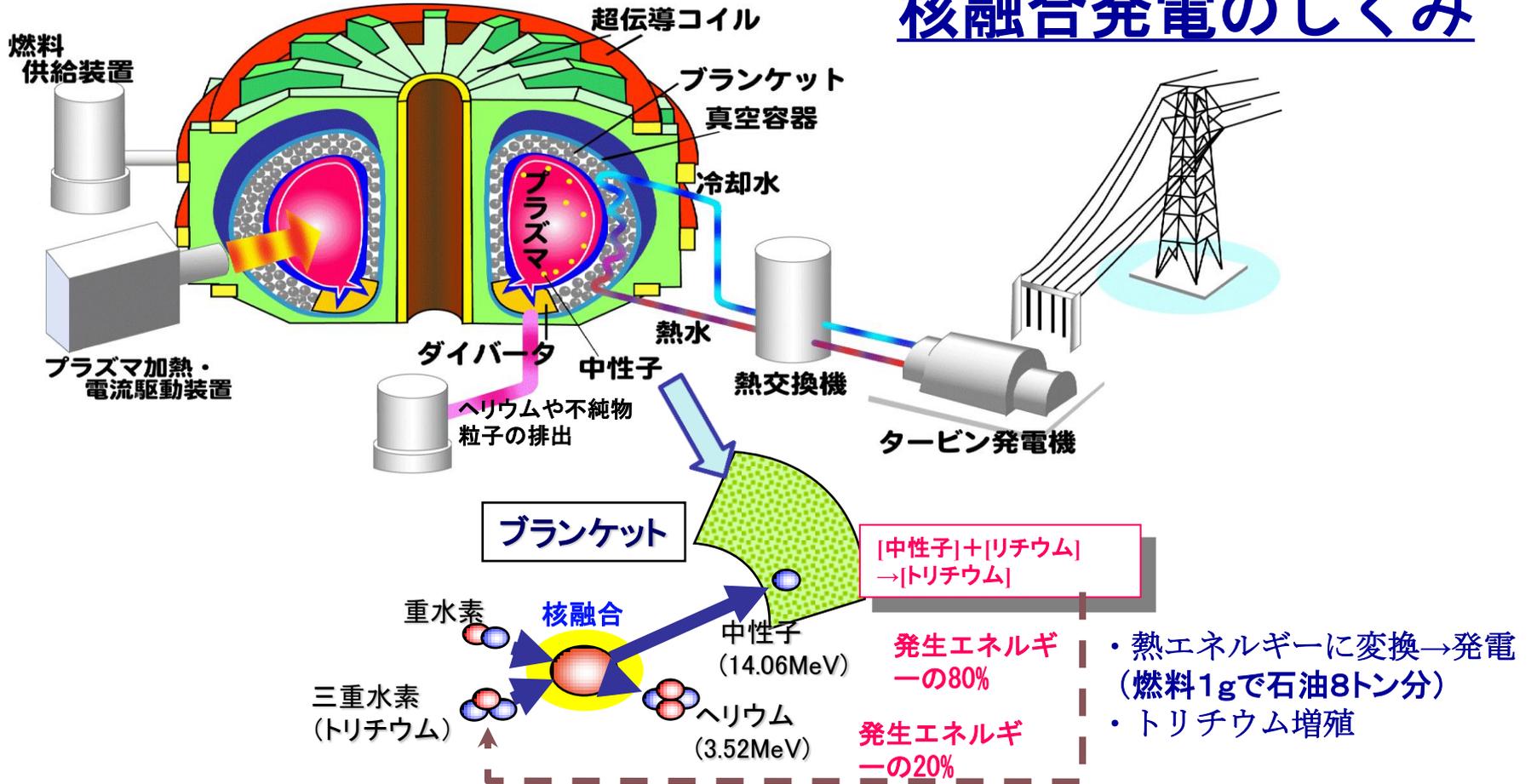
⇒止まる、冷える、閉じ込める



# ITER: 磁力線の器でプラズマを閉じ込める

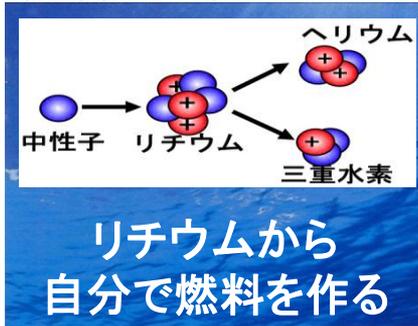


# 核融合発電のしくみ



# 核融合：無尽蔵でより安全なエネルギー

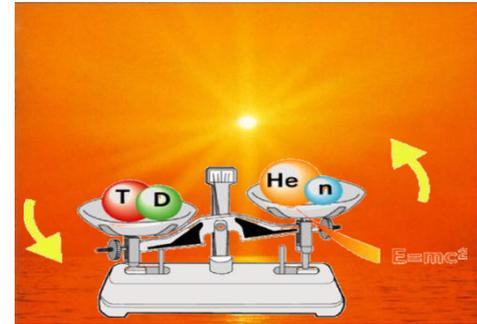
## 燃料が豊富



燃料は無尽蔵  
(海中から)  
重水素33g/トン  
リチウム0.2g/トン

## 少しの燃料で沢山のエネルギー

燃料1gで石油8トン分のエネルギー



## 環境に優しく安全



## エネルギー問題・環境問題の根本的解決

反応生成物はヘリウム  
燃料の元栓を締めると  
反応が停止

超伝導、ロボット  
など未来に向けた  
先端技術開発

## 先端技術の結晶



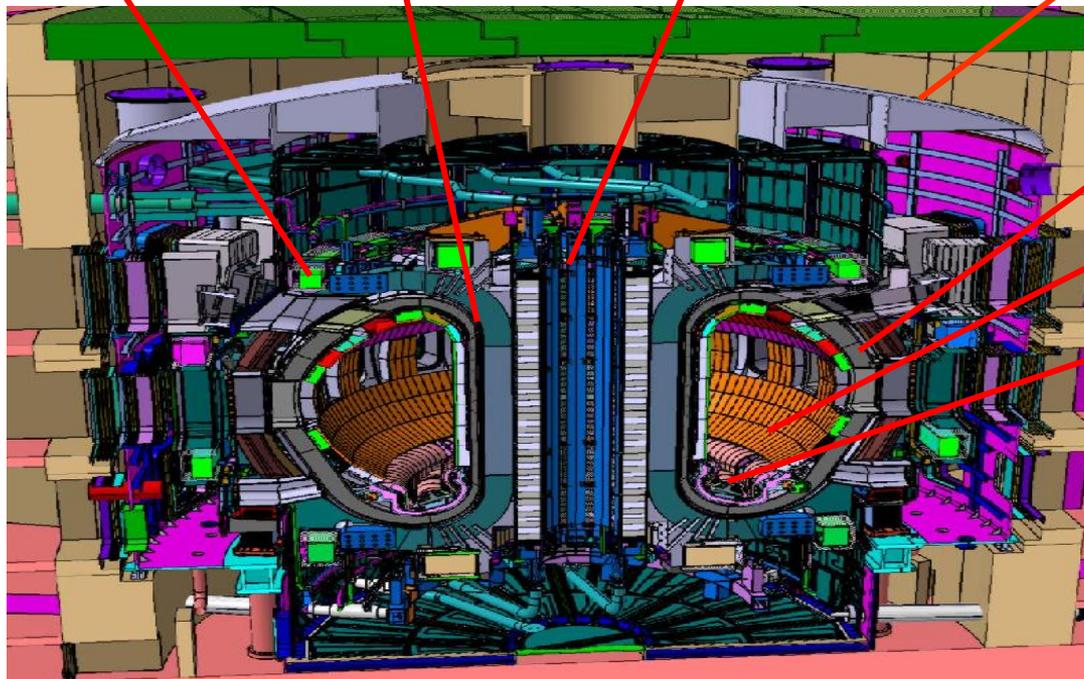
# ITERトカマクの構成と主な諸元

ポロイダル  
磁場コイル  
Nb-Ti

トロイダル  
磁場コイル  
Nb<sub>3</sub>Sn

中心ソレノイド  
Nb<sub>3</sub>Sn, 6 modules

クライオスタット  
24 m high x 28 m dia.



真空容器  
9 sectors

ブランケット(遮蔽)  
440 modules

ダイバータ  
54 cassettes

プラズマ大半径 6.2 m

プラズマ体積: 840 m<sup>3</sup>

プラズマ電流: 15 MA

核融合熱出力: 500 MW

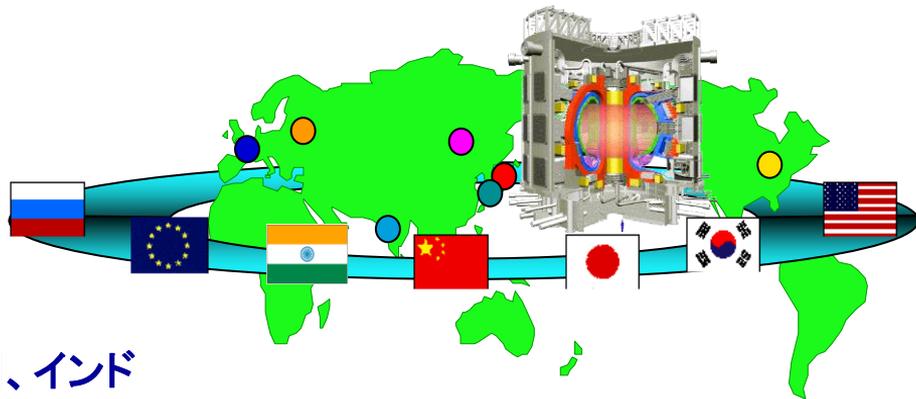
重量: ~23,400 t (クライオスタット、真空容器、マグネット)

# ITER計画の経緯

- 1985年 米・ソ主脳会議(レーガン-ゴルバチョフ)、核融合の国際共同開発に合意  
日、欧にも呼び掛けて、ITER計画が発足。
- 1988-1990年 概念設計活動(CDA)
- 1992-1998年 工学設計活動(EDA)
- 1998-2001年 延長EDA(日、欧、露)。日本提案による設計の大転換・コスト低減。
- 2001-2005年 サイト選定、日欧露加の4極に加え、米中韓が参加。2003年末に加離脱。
- 2005年 ITERサイトがサンポール・レ・デュランスに決定、印が参加。
- 2006年 ITER協定の署名
- 2007年 ITER機構発足
- 初代 機構長 池田 要 氏
- 2代目機構長 本島 修 氏
- 3代目機能長 ビゴ ベルナード 氏

## 参加極 (日本は準ホスト極の役割)

日本、ユーラトム、ロシア、米国、中国、韓国、インド



# ITER計画の目標

## 計画目標

◇核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性を実証

## 技術目標

◇核融合出力と外部からの入力の方が10以上の燃焼プラズマを長時間(300~500秒)生成、定常運転の実証

◇超伝導コイルや加熱装置などの核融合工学技術を統合し、その有効性を実証

◇将来の核融合炉に必要なブランケット等の試験

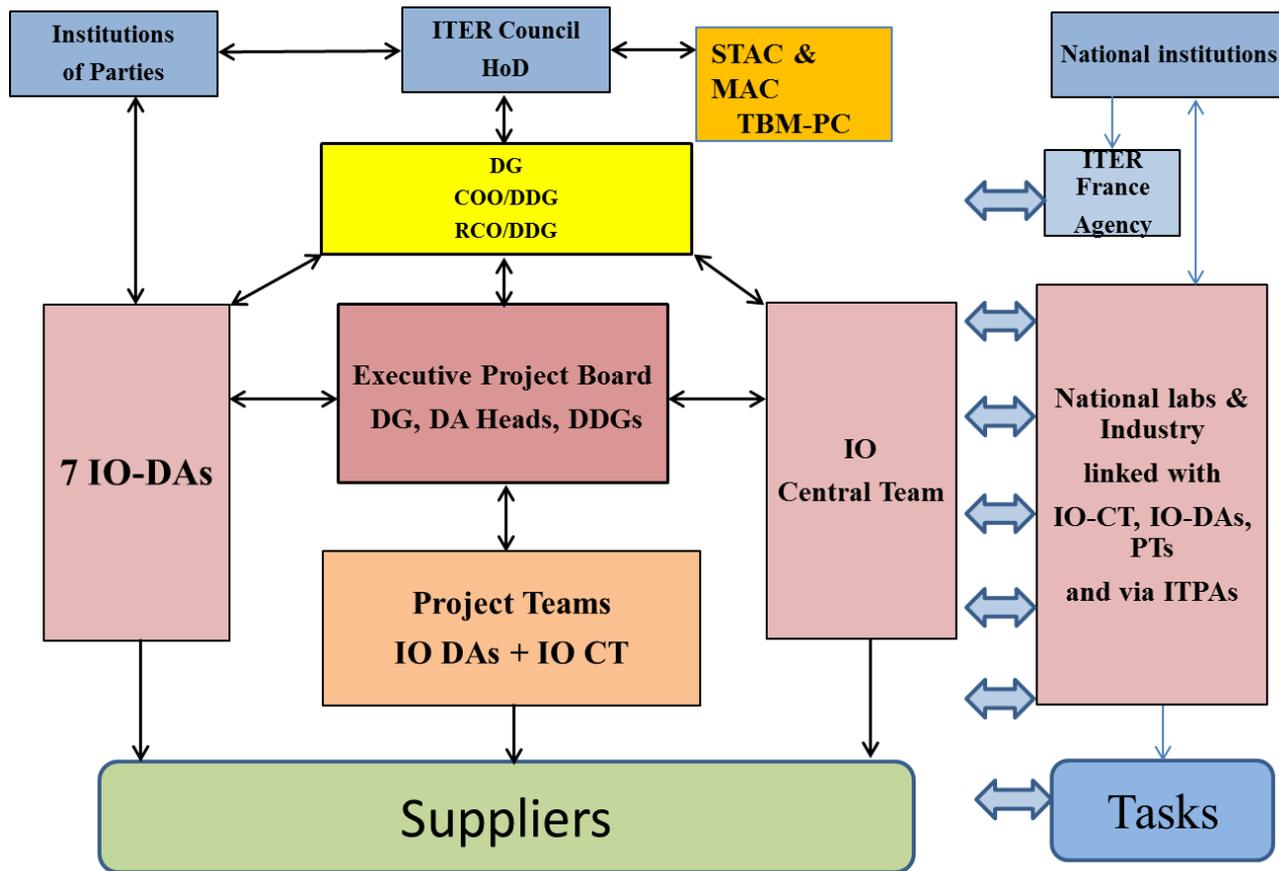
◇環境・安全性の実証



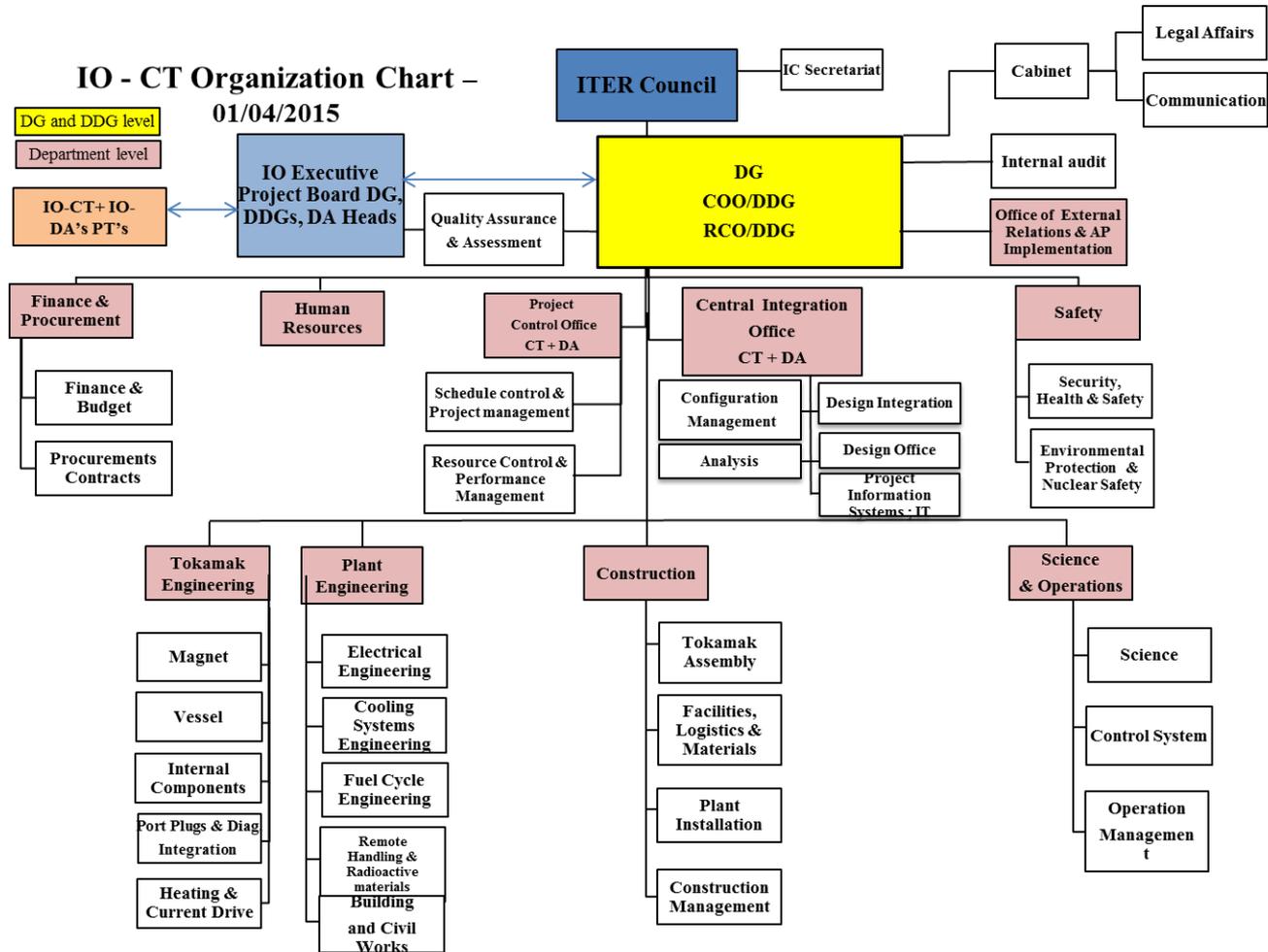
# ITER計画全体の運営体制



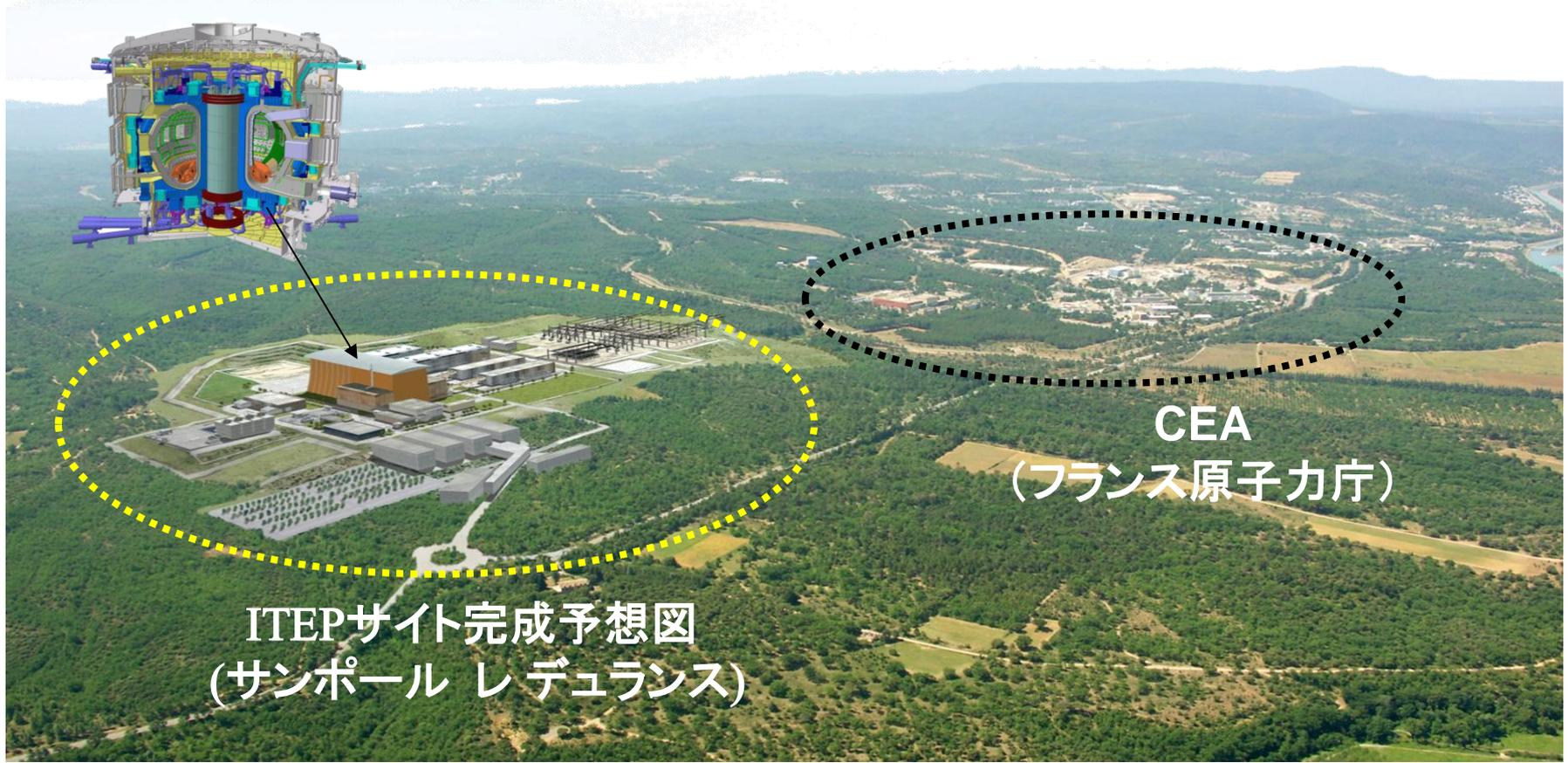
新旧のITER機構長  
(2015年3月)



# ITER機構 中央チーム 組織構成



# ITER建設サイト



ITERサイト完成予想図  
(サンポール レ デュランス)

CEA  
(フランス原子力庁)

# ITERサイト整備状況

2009年8月に建設を開始

ポロイダル磁場コイル組立建屋:幅45m、  
長252m、高17m(2012年2月完成)

機器保管エリア-2

400kV受変電設備エリア

クライオスタット組立棟

組立建屋

トカマク複合建屋ピット  
(幅87m、長123.6m、深17m)

本部ビル(2012年10月完成):  
拡張工事完了(2014年10月)

機器保管エリア-1

2014年4月撮影

# トカマクピットの建設

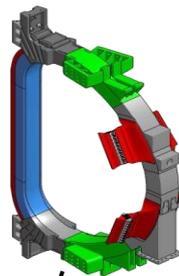


Resting on the 493 columns of the Tokamak Pit seismic system, a second basemat (1.5-m. thick) will support the 400,000-ton Tokamak Complex buildings. This « B2 slab » was finalized on 27 Aug. 2014. Walls construction is ongoing on the lowest basement level of the building.

# 日本の調達分担機器

## 中心ソレノイドコイル用導体

プラズマの立ち上げ、燃焼、立ち下げの制御に必要な磁束を発生する超伝導コイル

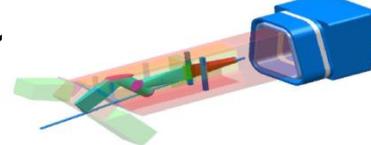


## 超伝導トロイダル磁場コイル (一部)

高温のプラズマを閉じ込めるための磁場を発生する機器

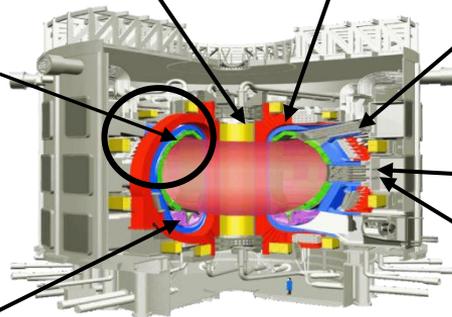
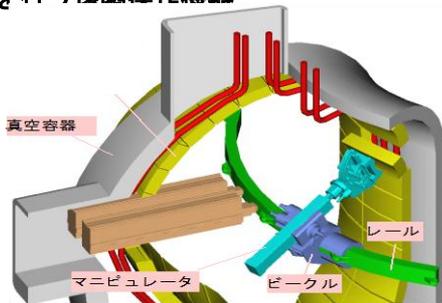
## 計測装置 (一部)

プラズマ中のイオンと電子の密度や温度、不純物、中性子等の分布を測定する機器



## ブランケット遠隔保守機器 (一部)

遮蔽ブランケットの保守・交換作業を行う遠隔操作機器



## 高周波加熱装置 (一部)

電子サイクロトロン波帯システムの一部：電子レンジの原理で電磁波でプラズマを加熱する装置



## 中性粒子入射加熱装置 (一部)

高エネルギーの中性粒子をプラズマに入射させてプラズマを加熱する装置

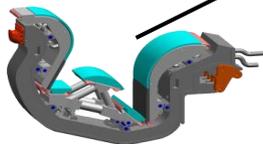


## トリチウムプラント設備 (一部)

燃料であるトリチウムの分離回収、精製、処理及びプラズマへの再注入を行うための設備

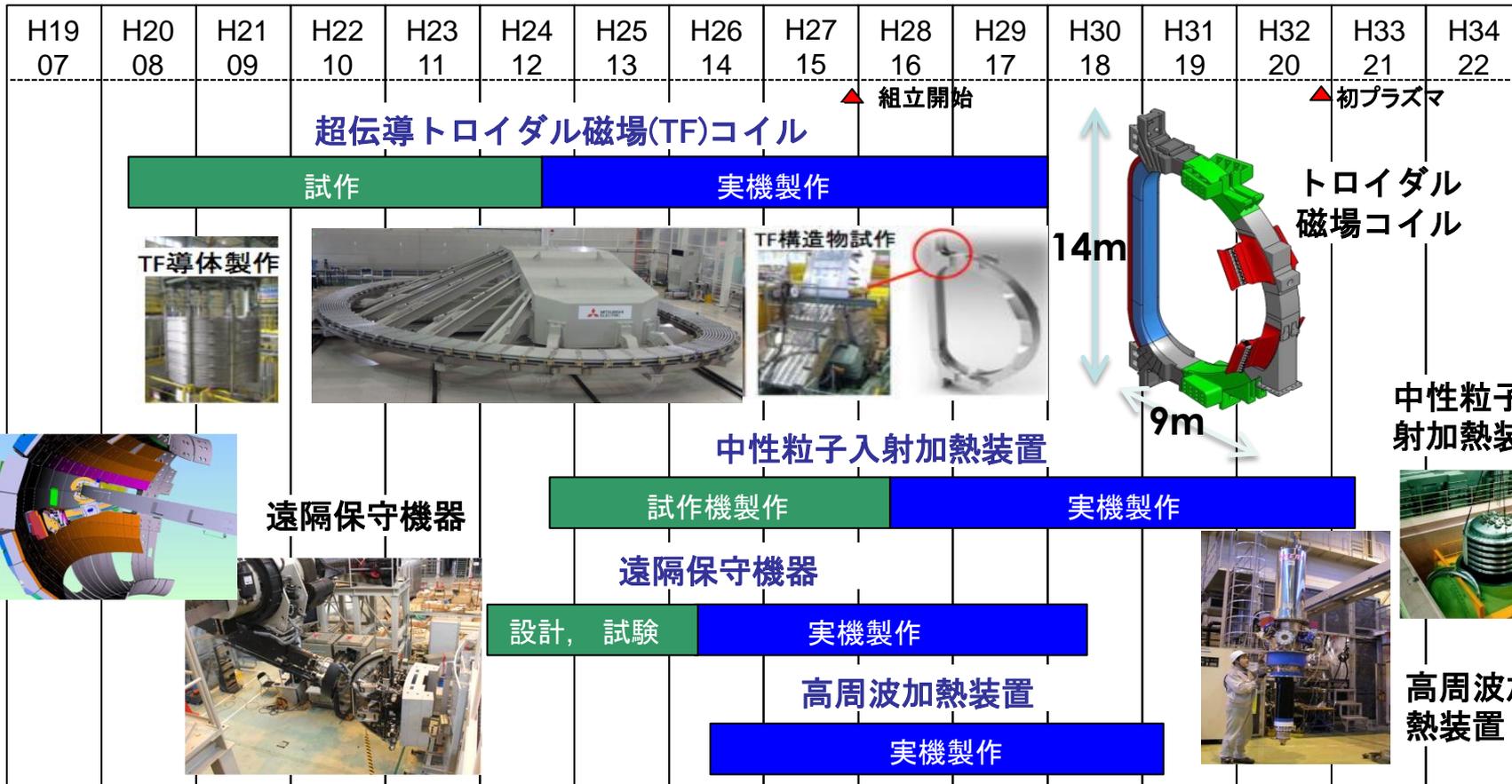
## ダイバータ (一部)

核融合で発生するヘリウムや不純物粒子を排出する装置



# ITER計画：日本分担機器の主な進捗状況

年



# ITER・TFコイル巻線部の製作

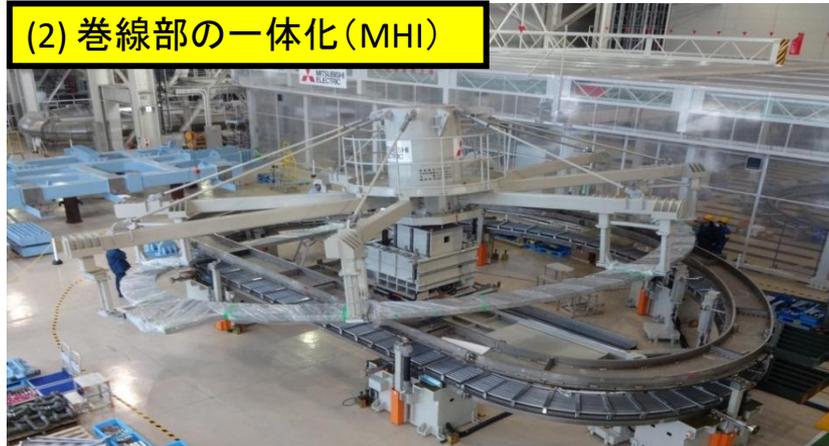
(1) 巻線作業: 高精度の実証 (MHI)



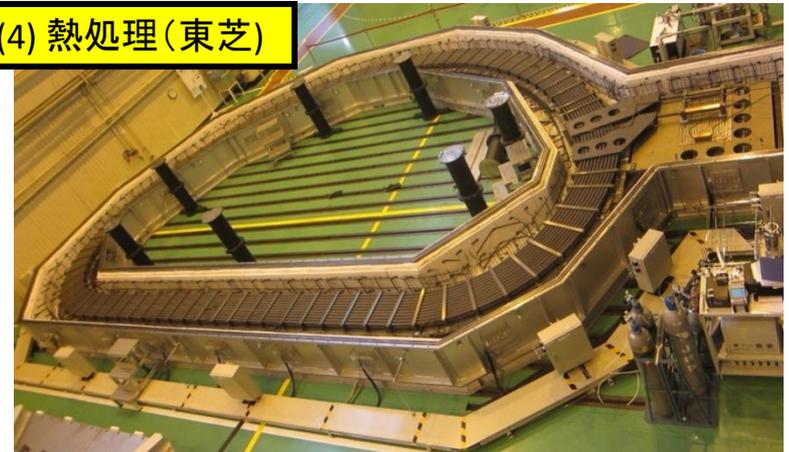
(3) 巻線作業: 高精度の実証 (東芝)



(2) 巻線部の一体化(MHI)



(4) 熱処理(東芝)



# ITER・NB加熱装置の製作

NBI実機試験施設 (NBTF@伊パドバ)用電源機器を計画どおり調達。

イオン生成電源 (EU)

1 MV伝送ライン

直流発生器

イタリア高圧ガス規制当局立会いの下、圧力容器水圧試験を実施

6.0 m

φ2.5m

(日立製作所製)

3.5m

HVブッシング：セラミック絶縁管 5体、FRP絶縁管 5体全ての製作を完了

(日立化成製) FRP絶縁管

セラミック絶縁管 (京セラと共同開発)

1 MV絶縁変圧器 (R&D)

ブッシング 16 m

変圧器部

耐電圧試験装置

5m

φ2.5m

(日立製作所製)

# ブランケット遠隔保守装置

重量物（4ton）高精度ハンドリングの実証

# 高周波加熱装置

170GHz、1 MWの実証



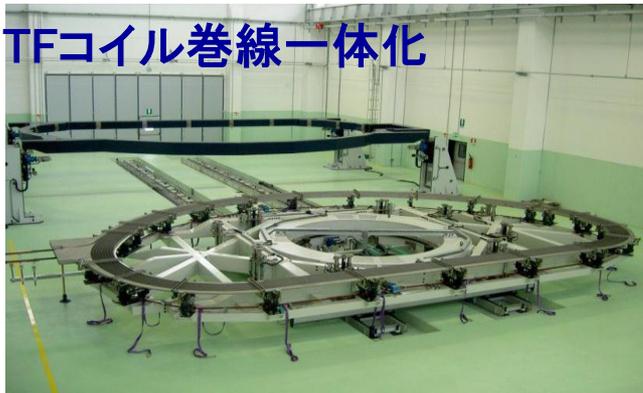
東芝と共同開発

# 他国内機関における製作状況

TFコイル巻線



TFコイル巻線一体化



センターソレノイド(CS)  
コイル巻線



磁場補正コイル巻線



# 他国内機関における製作状況



真空容器



真空容器ポート



真空容器ポート



クライオスタット



熱シールド

# サイトへの輸送状況

14 Jan. 2015:	US: Transformer (90 t.)
20 March 2015:	Europe: Detritiation tank (20 t.)
2 April 2015:	Europe: Detritiation tank (20 t.)
20 April 2015:	US: Transformer (90 t.)
7 May 2015:	US: Drain tanks(79 t.)
21 May:	US: Transformer (90 t.)



# 核融合エネルギー実現への道

試験装置の段階

超高温プラズマの実現

JT-60

世界最高温度  
5.2億度

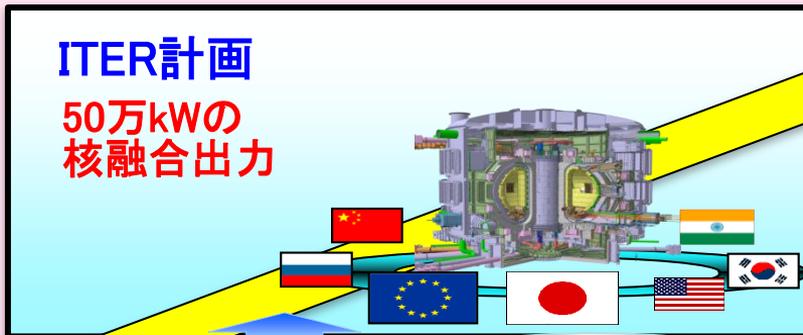


実験炉の段階

現在

ITER計画

50万kWの  
核融合出力

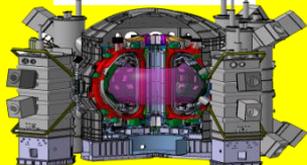


ITERを支援する

幅広いアプローチ(BA)活動

【茨城那珂】

【青森六ヶ所】



サテライト・トカマク  
(JT-60SA)



国際核融合エネルギー  
研究センター

原型炉の段階



発電実証

ITERでできない  
ことを補う

原型炉に向けた  
技術基盤の構築

実用化

# 幅広いアプローチ活動の3つのプロジェクト

青森県六ヶ所村

国際核融合エネルギー研究センター(IFERC)事業

原型炉設計、研究開発

日欧で核融合原型炉の設計検討及び工学技術に開発

遠隔実験

六ヶ所とITERをネットワーク接続



計算機シミュレーション

核融合理論・シミュレーション



国際核融合材料照射施設の工学設計・工学実証(IFMIF/EVEDA)事業

IFMIFの建設に先立ち主要機器の工学実証と工学設計

IFMIF全体の工学設計

サイト要件、安全評価、運転計画を含む統合設計を実施

工学実証

加速器系、ターゲット系等の原型開発  
Li試験ループ  
1/3スケール 実機大原型加速器



大洗



六ヶ所

茨城県那珂市

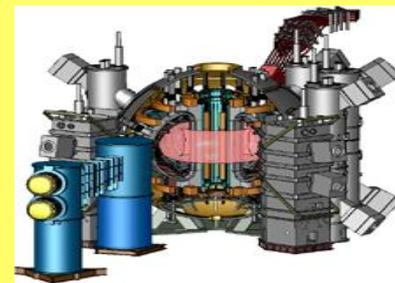
サテライトトカマク(JT-60SA)事業

ITERの支援研究

ITERでの効率的な運転  
我が国主導による試験・研究

原型炉のための挑戦的研究

原型炉を目指した革新的な研究



# ITER超伝導コイルに新しい構造規格の開発・適用

日本機械学会・  
発電用設備規格委員会組織図

発電用設備規格委員会

火力専門委員会

原子力専門委員会

核融合専門委員会

品質保証・材料分科会

設計・交換技術分科会

溶接・接合・検査分科会

超伝導マグネット構造規格開発の経緯

平成18年 核融合専門委員会で  
開発開始

平成20年 3月 最終原案  
6月～8月 公衆審査  
10月 規格発行  
核融合設備規格  
超伝導マグネット構造規格  
(2008年版)

平成21年 英訳版作成

平成22年 9月 規格英訳版発行

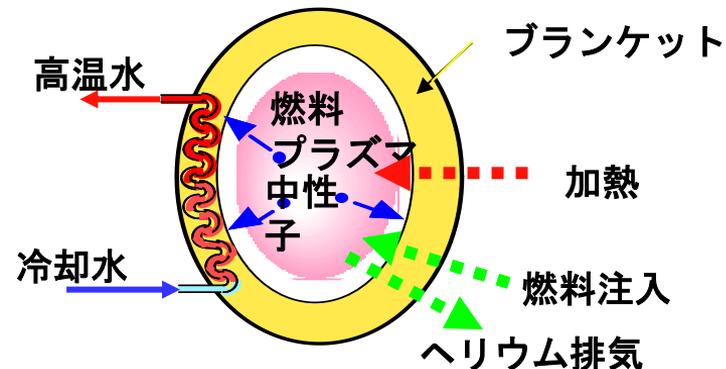
# 日本におけるITER関連規格・基準類の整備概要

## ITER建設に向けて整備した基準類

- ・ ITER施設の安全確保の基本的な考え方  
平成12年7月 科技庁原子炉安全技術顧問の会合
- ・ ITERの安全確保について  
平成13年8月 原子力安全委員会
- ・ ITERの安全規制のあり方について  
平成14年6月 原子力安全委員会
- ・ ITERの安全設計・評価の基本方針、技術基準  
平成15年11月 文科省ITER安全規制検討会
- ・ ITER耐震・免震設計基準案  
平成15年 原子力安全研究協会
- ・ ITER安全設計・評価の方針案  
平成16年 原子力安全研究協会
- ・ ITERの安全審査に関する調査検討  
平成17年 原子力安全研究協会
- ・ 核融合設備規格：日本機械学会核融合専門部会  
平成20年、22年 超伝導マグネット構造規格  
真空容器、真空容器内機器等(検討案)

## 核融合反応

- ・ 連鎖的に誘発しない：暴走がない。
- ・ 外乱で容易に停止。
- ・ 崩壊熱密度低い。



# まとめ

- ITER計画は、一部に遅れがあるものの、ITER機構及び7極国内機関の共同作業により確実に進捗している。
- 工学技術では、これまでに経験ない大型機器を高精度で製作する、或いは高性能の機器を開発・製作する等の課題を克服し、実機製作を開始している。日本は、これらの先進技術をリードする役割を果たしている。
- ITERで開発した技術は、原型炉に向けた技術的見通しを示すと共に、高度化への基盤を提供するものである。
- ITERを日本に誘致するために策定した安全確保の考え方、安全設計・評価の方針、各種基準類は、原型炉の規制や技術基準を検討する上での基盤として活用可能である。
- これらのITER技術と幅広アプローチで進めている技術を融合することで世界に先駆けて原型炉を日本に建設する技術基盤が構築されている。